



⑮ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Übersetzung der  
europäischen Patentschrift

⑤① Int. Cl. 7:  
G 01 C 19/56

②⑦ EP 0 750 176 B 1

⑩ DE 696 20 824 T 2

06

- ②① Deutsches Aktenzeichen: 696 20 824.5  
②② Europäisches Aktenzeichen: 96 109 450.5  
②③ Europäischer Anmeldetag: 13. 6. 1996  
②④ Erstveröffentlichung durch das EPA: 27. 12. 1996  
②⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: 24. 4. 2002  
②⑥ Veröffentlichungstag im Patentblatt: 12. 12. 2002

DE 696 20 824 T 2

- ③① Unionspriorität:  
9507416 21. 06. 1995 FR  
⑦③ Patentinhaber:  
Asulab S.A., Marin, CH  
⑦④ Vertreter:  
Sparing . Röhl . Henseler, 40237 Düsseldorf  
②④ Benannte Vertragsstaaten:  
CH, DE, ES, GB, IT, LI, NL, SE

- ⑦⑤ Erfinder:  
Farine, Pierre-Andre, 2003 Neuchâtel, CH; Etienne,  
Jean-Daniel, 2206 Les Geneveys-sur-Coffrane, CH;  
Dalla Piazza, Silvio, 2610 Saint-Imier, CH

- ⑤④ Vorrichtung zum Messen einer Winkelgeschwindigkeit

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II-§ 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 696 20 824 T 2

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Messen einer Winkelgeschwindigkeit, die umfaßt:

- einen Meßwandler, der dazu bestimmt ist, sich mit dieser Winkelgeschwindigkeit zu drehen,
- Mittel zum Erzeugen einer mechanischen Schwingung des Meßwandlers als Antwort auf ein Erregungssignal, wobei diese mechanische Schwingung eine parasitäre Komponente und wenigstens eine Nutzkomponente enthält, die eine Amplitude besitzt, die die Winkelgeschwindigkeit darstellt;
- Mittel, die ein elektrisches Erfassungssignal erzeugen, das die mechanische Schwingung darstellt und ebenfalls eine parasitäre Komponente und wenigstens eine Nutzkomponente enthält, die eine Amplitude besitzt, die die Winkelgeschwindigkeit darstellt.

Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Verarbeiten der Erregungs- und der Erfassungssignale, um das Messen der Nutzkomponente des Erfassungssignals zu vereinfachen.

Die Erfindung findet insbesondere auf die Bestimmung der Nutzkomponente des elektrischen Erfassungssignals Anwendung, das von einem Gyrometer mit Stimmgabel aufgrund der Wirkung der Corioliskraft auf die Stimmgabel als Antwort auf ein Erregungssignal geliefert wird.

Aufgrund ihrer geringen Größe und ihrer geringen Kosten drängen sich Gyrometer mit Stimmgabel für die Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit eines sich bewegenden Gegenstands geradezu auf. Komplizierte und teure Gyrometer werden seit langem insbesondere in Flugzeugen oder in Flugkörpern eingesetzt, wo sie dazu dienen, die Orientierung des Flugzeugs oder des Flugkörpers in bezug auf ein feststehendes Bezugssystem zu verfolgen.

Mit den Möglichkeiten der Miniaturisierung, die mit einem Gyroskop mit Stimmgabel verbunden sind, werden jedoch neue Anwendungsmöglichkeiten ins Auge gefaßt, insbesondere in der Automobilindustrie, wo sie in Antiblockiersysteme und in Vorrichtungen zur Niveauregulierung integriert werden können.

Eine Vorrichtung zum Messen einer Winkelgeschwindigkeit mit Hilfe einer Stimmgabel aus Quarz ist in dem Patent EP-B-0 515 981 desselben Anmelders

beschrieben. In einem Gyrometer mit Quarzstimmgabel sind die Schenkel der Stimmgabel mit Elektroden zum Anlegen eines Erregungssignals und mit Elektroden zum Erfassen eines Erfassungssignals versehen, das der Antwort der Stimmgabel entspricht, wenn sich diese um ihre Längsachse dreht.

Verschiedene Dokumente des Standes der Technik, insbesondere EP 0 494 588 führen die Tatsache an, daß ein gutes Funktionieren eines Gyrometers mit Stimmgabel einerseits von der Anordnung der Erregungs- und der Erfassungselektroden auf der Stimmgabel abhängt, um die Kopplung zwischen dem Erregungssignal und dem Erfassungssignal so gering wie möglich zu halten, und andererseits von der Beschaffenheit der der Stimmgabel zugeordneten elektronischen Verarbeitungsmittel abhängt, um die Nutzkomponente, die typisch sehr schwach ist, die bei der Bewegung des Gyrometers durch die Corioliskraft hervorgerufen wird, vollständig auswerten zu können.

Nun weisen aber die nach dem derzeitigen Stand der Technik bekannten Gyrometer den Nachteil auf, daß die Messung des Nutzteils des erfaßten Signals, welcher der Corioliskraft entspricht, schwierig ist, und dies um so mehr, als die Drehgeschwindigkeit des Gyrometers gering ist.

Das frühere Dokument EP 0 503 807 beschreibt eine Vorrichtung zum Messen einer Winkelgeschwindigkeit mit Hilfe einer Stimmgabel. Die Erregungs- und die Erfassungselektroden sind auf jeweils einem der Schenkel der Stimmgabel plziert. Um die von der Nutzkomponente des Erfassungssignals dargestellte Winkelgeschwindigkeit messen zu können, erfolgt eine mechanische Korrektur der Elektroden, damit der Teil, der die parasitäre Komponente des Erfassungssignals darstellt, zum Erregungssignal um 90° phasenverschoben und durch die elektronischen Verarbeitungsmittel aus dem Meßsignal entfernt wird.

Die vorliegende Erfindung hat zum Ziel, diese Nachteile zu beseitigen, indem sie eine Vorrichtung zum Messen einer Winkelgeschwindigkeit schafft, die auf der Nutzung der Corioliskraft beruht und ermöglicht, die Nutzkomponente des von dem Meßwandler gelieferten Erfassungssignals zu isolieren und zu bestimmen.

Ein weiteres Ziel der Erfindung besteht darin, eine Meßvorrichtung des oben genannten Typs zu schaffen, die eine bessere Auflösung beim Messen des erfaßten Nutzsignals aufweist.

Dazu hat die Erfindung eine Vorrichtung zum Messen einer Winkelgeschwindigkeit zum Gegenstand, die umfaßt:

- einen Meßwandler, der dazu bestimmt ist, sich mit dieser Winkelgeschwindigkeit zu drehen,
- Mittel zum Erzeugen einer mechanischen Schwingung des Meßwandlers als Antwort auf ein Erregungssignal, wobei diese mechanische Schwingung eine parasitäre Komponente und wenigstens eine Nutzkomponeute enthält, die eine Amplitude besitzt, die die Winkelgeschwindigkeit darstellt,
- Mittel, die ein elektrisches Erfassungssignal erzeugen, das die mechanische Schwingung darstellt und ebenfalls eine parasitäre Komponente und wenigstens eine Nutzkomponeute enthält, die eine Amplitude besitzt, die die Winkelgeschwindigkeit darstellt, und
- Verarbeitungsmittel, die anhand des elektrischen Erfassungssignals ein analoges Meßsignal der Winkelgeschwindigkeit gewinnen, dadurch gekennzeichnet, daß die Verarbeitungsmittel Phasenschieber, die die Phase des Erregungssignals und des Erfassungssignals um einen Wert verschieben, der ihrer anfänglichen Phasenverschiebung entspricht, sowie Mittel umfassen, die das Erfassungssignal und das Erregungssignal, die phasenverschoben sind, mischen, um die parasitäre Komponente des Erfassungssignals zu beseitigen, damit die Amplitude des analogen Meßsignals zur Amplitude der Nutzkomponeute des Erfassungssignals, die die Winkelgeschwindigkeit darstellt, proportional ist.

Vorteilhaft umfassen diese Mittel zur Analogverarbeitung des Signals ein Tiefpaßfilter, das an den Ausgang der Mischeinrichtung angeschlossen ist, wobei seine Grenzfrequenz so gewählt ist, daß Komponenten des gemischten Signals mit einer Frequenz oberhalb der Frequenz des Erregungssignals beseitigt werden. Außerdem sind vor der Mischeinrichtung Verstärker und Allpaßfilter angeschlossen, die als Phasenschieber benutzt werden, um die Abhängigkeit des Meßsignals in bezug auf eine anfängliche Phasenverschiebung zwischen dem Erregungssignal und dem Erfassungssignal zu beseitigen, so daß die Amplitude des resultierenden Ausgangssignals einen Wert aufweist, der proportional zur zu messenden Winkelgeschwindigkeit ist.

Vorzugsweise umfassen die Verarbeitungsmittel Mittel, um das Erregungssignal bzw. das Erfassungssignal mit einem Referenzsignal zu mischen, wobei diesen Mitteln Tiefpaß-Filtermittel und Phasenverschiebungsmittel zugeordnet sind, so daß ein Ausgangssignal erzeugt wird, dessen Amplitude von der Winkelgeschwindigkeit und von der Amplitude des Referenzsignals abhängt, während

22.07.02

es von der parasitären Komponente des Erfassungssignals unabhängig ist. In diesem Fall wird das Referenzsignal mit einer hinreichend großen Amplitude gewählt, die geeignet ist, die Auflösung des Messsignals für die Winkelgeschwindigkeit zu erhöhen.

Die Aufgaben und Merkmale der Erfindung werden nun ausführlicher anhand eines nicht einschränkenden Beispiels mit Bezug auf die Zeichnung beschrieben, worin

- Fig. 1A eine Ansicht einer Stimmgabel, wie sie in einigen Gyrometern verwendet wird, im Längsschnitt ist;
- Fig. 1B eine Ansicht der Stimmgabel von Fig. 1A im Querschnitt I-I des Erregungsschenkels (E) und des Erfassungsschenkels (D) ist;
- Fig. 2 eine schematische Ansicht der Vorrichtung zum Messen einer Winkelgeschwindigkeit gemäß der Erfindung ist;
- Fig. 3 eine genauere Darstellung einer ersten Ausführungsform der Vorrichtung zum Messen einer Winkelgeschwindigkeit gemäß der Erfindung ist; und
- Fig. 4 eine schematische Ansicht einer weiteren Ausführungsform der Vorrichtung zum Messen einer Winkelgeschwindigkeit gemäß der Erfindung ist.

Es wird auf Fig. 1 Bezug genommen. In dieser Figur ist ein Beispiel für eine Stimmgabel 1 eines in einem Gyrometer verwendbaren Typs gezeigt. Die in Fig. 1A im Längsschnitt gezeigte Stimmgabel 1 umfaßt insbesondere eine Basis 3, die mit den beiden Schenkeln 5, 7 verbunden ist, wobei die Gesamtheit aus einem piezoelektrischen Quarzmaterial hergestellt ist. Wie in dem vergrößerten Querschnitt von Fig. 1B gezeigt ist, umfaßt jeder Schenkel 5, 7 Elektroden 9, 11. Der Erregungsschenkel (E) 5 umfaßt Erregungselektroden 9, von denen nur eine einzige der vier dargestellten Elektroden bezeichnet ist, die das Anlegen eines elektrischen Signals  $\pm V$  ermöglichen, das erlaubt, die Schenkel 5, 7 der Stimmgabel 1 in einer ersten Ebene, wie durch die Pfeile 13 angegeben ist, anzuregen und folglich mechanisch schwingen zu lassen. Der Erfassungsschenkel (D) 7 umfaßt Erfassungselektroden, von denen nur eine einzige der vier dargestellten Elektroden bezeichnet ist, die ermöglichen, die mechanischen Schwingungen des Erfassungsschenkels in ein erfaßtes elektrisches Signal zu überführen.

Nach der Theorie der Gyrometer mit Stimmgabel erzeugt eine Drehbewegung der Stimmgabel 1 um ihre Längsachse 15, während an der Erregungselektrode (E) 9 ein Erregungssignal anliegt, eine Corioliskraft senkrecht zur Anregung

und folglich eine Schwingung wenigstens des Erfassungsschenkels (D) 7 in einer Ebene, die senkrecht zur entsprechenden Ebene der Erregungsschwingung ist, wie durch den Pfeil 17 angegeben ist.

Diese mechanische Schwingung wird von dem piezoelektrischen Quarz der Stimmgabel 1 in ein elektrisches Signal umgewandelt, das von den Erfassungselektroden 11 der Stimmgabel 1 erfaßt wird.

In der vorliegenden Erfindung wird das Problem der Positionierung der Erregungselektroden 9 und der Erfassungselektroden 11 auf den Schenkeln der Stimmgabel 1, um eine optimale elektrische Antwort der Stimmgabel zu erzeugen, nicht angesprochen, da dieses Problem in den zuvor genannten Dokumenten des Standes der Technik angegangen und gelöst worden ist. Die vorliegende Erfindung interessiert sich hingegen für das elektronische Verarbeitungsverfahren der elektrischen Erregungs- und Erfassungssignale sowie für die Mittel, die damit verbunden sind, um die Nutzkomponente des Erfassungssignals, d. h. die auf die Corioliskraft zurückzuführende Komponente, zu isolieren und zu messen, und dies mit einer Auflösung und mit einer Geschwindigkeit, die ausreichend sind, um den Einsatz der Stimmgabel in neuen Anwendungen zu ermöglichen.

Dazu wird sich auf Fig. 2 bezogen, wo in schematischer Weise eine Stimmgabel 1 entsprechend derjenigen von Fig. 1 dargestellt ist, die elektronischen Schaltungen zur Verarbeitung des Erregungssignals und des Erfassungssignals zugeordnet ist.

In an sich bekannter Weise sind die Erregungselektroden 9 der Stimmgabel 1 in einen Schwingkreis integriert, der schematisch als Schleife 19 dargestellt ist und der von einem Verstärker 21 mit einem Konstantstrom gespeist wird, wobei das Erfassungssignal DET an den Anschlüssen der Erfassungselektroden 11 abgenommen wird.

Um die nachfolgenden Betrachtungen zu vereinfachen, wird angenommen, daß das Erregungssignal (OSC) sinusförmig ist und daß das Erfassungssignal (DET) der Überlagerung einer in bezug auf das Erregungssignal um einen Winkel  $d\varphi_0$  phasenverschobenen parasitären Komponente und einer der Corioliskraft entsprechenden Nutzkomponenten entspricht. Unter diesen Bedingungen genügen die Signale OSC und DET den folgenden Gleichungen:

$$(1) \text{ OSC} = A \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0),$$

wobei A die Amplitude des Erregungssignals,  $\omega_0$  seine Kreisfrequenz und  $\varphi_0$  seine anfänglich Phasenverschiebung in bezug auf das Erfassungssignal ist, und

$$(2) \text{ DET} = B \cdot \sin(\omega_0 t) + C \cdot \cos(\omega_0 t),$$

worin der erste Term ein parasitäres Signal darstellt, das aus der kapazitiven und mechanischen Kopplung zwischen den Schenkeln der Stimmgabel entstanden ist, und der zweite Term das Nutzsignal darstellt, das auf die Corioliskraft zurückzuführen ist, dessen zu messende Amplitude proportional zur Drehgeschwindigkeit  $\Omega$  der Stimmgabel ist.

Außerdem wird angemerkt, daß die Phasenverschiebung  $\varphi_0$  zwischen dem Erregungssignal OSC und dem Erfassungssignal DET, das für eine gegebene Stimmgabel konstant ist, für eine solche Stimmgabel, wie sie in Fig. 1 dargestellt ist, typisch in der Größenordnung von  $56^\circ$  ist.

Das Erfassungssignal DET erscheint als ein phasenmoduliertes Signal, das wiederum als Gleichung geschrieben werden kann:

$$(3) \text{ DET} = \sqrt{B^2 + C^2} \cdot \sin(\varphi(t)),$$

mit  $\varphi(t) = \omega_0 t + \psi$ , wobei  $\psi = \arctan C/B$ .

In der Praxis zeigt sich, daß die Amplitude C der Nutzkompente des Erfassungssignals für Drehgeschwindigkeiten  $\Omega$  in der Größenordnung von  $50^\circ/\text{s}$  sehr viel kleiner als die Amplitude B der parasitären Kopplungskompente ist, so daß das Verhältnis  $C/B$  typisch in der Größenordnung von  $1/50$  ist, was einem sehr kleinen Winkel der Phasenverschiebung  $\psi$ , in der Größenordnung von  $1^\circ$ , entspricht, der schwierig zu messen und zu verwenden ist, um die Drehgeschwindigkeit  $\Omega$  der Stimmgabel 1 zu bestimmen.

Folglich ist gemäß dem Prinzip der Erfindung vorgesehen, eine Analogverarbeitung der Signale OSC und DET durchzuführen, die ermöglicht, die Amplitude C der Nutzkompenten des erfaßten Signals auf einfachere Weise zu gewinnen.

Gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung besteht, wie in Figur 2 durch den Block 23 schematisch dargestellt ist, diese Analogverarbeitung darin, die Signale OSC und DET einem analogen Multiplizierer zuzuführen. Das resultierende Signal  $S(t)$  genügt der folgenden Gleichung (4):

$$(4) S(t) = \text{OSC} \cdot \text{DET} = [A \cdot \sin(\omega_0 t + \psi_0)] \cdot [B \cdot \sin(\omega_0 t) + C \cdot \cos(\omega_0 t)],$$

so daß:

$$S(t) = A \cdot B / 2 [\cos \psi_0 - \cos(2\omega_0 t + \psi_0)] + \\ + A \cdot C / 2 [\sin(2\omega_0 t + \psi_0) + \sin \psi_0].$$

Gemäß der Erfindung folgt auf dieses Mischen der Signale OSC und DET eine Tiefpaßfilterung mit Hilfe von Filtern, die eine Grenzfrequenz aufweisen, die so beschaffen ist, daß Vielfache von  $\omega_0$  beseitigt werden. Wenn die Kreisfrequenz  $\omega_0$  so gewählt ist, daß sie beispielsweise einer Frequenz von 8 kHz entspricht, wird es ausreichend sein, die Komponenten von  $S(t)$  mit 16 kHz zu filtern. Nach der Gleichung (4) bleibt das nachstehende Signal  $S'(t)$  übrig:

$$(5) S'(t) = A \cdot B / 2 \cos \psi_0 + A \cdot C / 2 \sin \psi_0$$

Vorzugsweise werden die Signale OSC und DET, bevor sie gemischt werden, mit Hilfe von Allpaßfiltern-Phasenschiebern phasenverschoben, die ermöglichen, ihre Phasenverschiebung auf  $\pi/2$  festzulegen. Wenn OSC und DET so um  $90^\circ$  phasenverschoben sind, ergibt ihr Mischen und Filtern ein Signal  $S''(t)$ , das der Gleichung

$$(6) S''(t) = A \cdot C / 2$$

genügt, dessen Amplitude proportional zur Amplitude C der Nutzkomponente ist, die die zu messende Winkelgeschwindigkeit  $\Omega(t)$  darstellt.

Daraus ergibt sich, daß die Geschwindigkeit aufgrund der obenbeschriebenen Analogverarbeitung lediglich anhand der Amplitude des Erregungssignals OSC und der Amplitude C der Nutzkomponente des Erfassungssignals DET, jedoch unabhängig von der parasitären Komponente B des Erfassungssignals gemessen werden kann.

Nun zur Fig. 3, in der eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels der elektronischen Vorrichtung gegeben ist, die in der Lage ist, aus dem Signal OSC =  $V_1(t)$  und dem Signal DET =  $V_2(t)$  ein analoges Signal  $S''(t)$ , wie oben definiert, zu erzeugen.

Die elektronische Vorrichtung von Fig. 3 umfaßt insbesondere eine Oszillatorstufe 25, die der Stimmgabel 1 ein Erregungssignal OSC zuführt, und eine Analogverarbeitungsstufe 27, die das Erfassungssignal DET und das Erregungssignal OSC verwendet, um das Ausgangssignal  $S''(t)$  zu erzeugen, das die Messung der Winkelgeschwindigkeit der Stimmgabel ermöglicht.

Die Oszillatorstufe 25 umfaßt in an sich bekannter Weise einen Verstärker 29, dessen Ausgang an den Eingang eines Tiefpaßfilters 31 angeschlossen ist.



Eine Rückkopplungsschleife, die einen Gleichrichter 33 in Reihe mit einem Strom-Integralregler 35 umfaßt, der eine Referenzstromquelle 37 (REFI) verwendet, mißt die Amplitude des Erregungssignals OSC und wirkt auf die Amplitude  $A_0$  des Verstärkers 29 ein, um diese Amplitude konstant zu halten und auf einen vorgegebenen Wert einzustellen, wodurch es möglich ist, den Pegel des von der Oszillatorstufe ausgegebenen Erregungssignals zu stabilisieren. Ein zwischen den Eingang des Gleichrichters 33 und Masse geschalteter Widerstand R1 ermöglicht, eine Angabe für den in der Stimmgabel 1 fließenden Strom zu erhalten.

Die Analogverarbeitungsstufe 27 umfaßt Verstärker 38, 39 für das Erregungssignal OSC bzw. das Erfassungssignal DET. Der Ausgang dieser Verstärker ist mit Phasenverschiebungsmitteln 41, 43 insbesondere in Form von Allpaßfiltern verbunden, die ermöglichen, die verstärkten Signale OSC und DET in ihrer Phase um  $90^\circ$  zueinander zu verschieben. Der Ausgang der Phasenschieber 41, 43 ist an den Eingang einer analogen Mischeinrichtung 45 angeschlossen, die am Ausgang ein Signal abgibt, das entsprechend der weiter oben angegebenen Gleichung 4 gemischt ist. Dieses Signal wird einem Tiefpaßfilter 47 übergeben, das die Frequenzen beseitigt, die Vielfache der Frequenz des Erregungssignals darstellen, und ein Signal  $S''(t)$  abgibt, das der oben angegebenen Gleichung (6) genügt.

Um die Auflösung  $\Delta\Omega$  ( $^\circ/s$ ) der Vorrichtung zu erhöhen, sieht die Erfindung vorzugsweise den Einsatz einer Technik der zweifachen Mischung der Erregungssignale OSC und der Erfassungssignale DET mit einem dritten Referenzsignal REF mit einer größeren Amplitude vor.

Eine schematische Darstellung dieser bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist Fig. 4, in welcher nur die Stufe der Verarbeitung der Signale OSC und DET gezeigt ist. Das Signal  $OSC = V_1(t)$  wird in einer Mischeinrichtung 49 mit dem Signal  $REF = V_3(t)$  gemischt, wobei das resultierende Signal mit  $U_1(t)$  bezeichnet ist. Ebenso wird auch das Signal  $DET = V_2(t)$  in einer Mischeinrichtung 51 mit einem Referenzsignal, insbesondere mit dem gleichen Signal  $REF = V_3(t)$ , gemischt, wobei das resultierende Signal mit  $U_2(t)$  bezeichnet ist. Die Signale  $U_1(t)$  und  $U_2(t)$  werden dann von den Verstärkungsmitteln 53, 55 verarbeitet und von den Phasenverschiebungsmitteln in Form von Allpaßfiltern 57, 59 in einer ähnlichen Weise, wie derjenigen, die mit Bezug auf Fig. 3 und die entsprechenden Analogverarbeitungsschaltungen beschrieben worden ist, phasenverschoben. Anschließend werden die aus den Allpaßfiltern 57, 59 hervorgehenden Signale

einem neuen Multiplizierer 61 übergeben, dessen Ausgangssignal an ein Tiefpaßfilter 63 übertragen wird, das das Meßsignal  $S''(t)$  für die Winkelgeschwindigkeit der Stimmgabel 1 liefert.

Indem ein Referenzsignal  $V_3(t)$  gemäß der folgenden Gleichung (7) gewählt wird,

$$(7) V_3(t) = R \cdot \cos[(\omega + \Delta\omega)t],$$

ergibt sich, wenn für die Signale OSC und DET die vorherigen Ausdrücke beibehalten werden:

$$(8) U_1(t) = A \cdot R/2 \cdot \cos(\Delta\omega t - \varphi) \text{ und}$$

$$(9) U_2(t) = B \cdot R/2 \cdot \cos \Delta\omega t + C \cdot R/2 \cdot \sin \Delta\omega t$$

Im Anschluß an die Filterung und die Phasenverschiebung, wie weiter oben dargelegt ist, und das Mischen in der Mischeinrichtung 61 ergibt sich  $S''(t)$  entsprechend der Gleichung (10):

$$(10) S''(t) = A' \cdot C'/2$$

wobei  $A' = A \cdot R/2$  und  $C' = C \cdot R/2$  ist, so daß

$$(11) S''(t) = (A \cdot C/2) \cdot (R^2/4) \text{ ist.}$$

Daraus folgt, daß das Meßsignal  $S''(t)$  für die Winkelgeschwindigkeit der Drehung der Stimmgabel 1 infolge der weiter oben beschriebenen Technik des zweifachen Mischens stets proportional zur Amplitude  $C$  der Nutzkomponeute des Erfassungssignals ist, wobei es jedoch, verglichen mit der Ausführungsform ohne zweifaches Mischen, zusätzlich mit einem Term  $(R^2/4)$  multipliziert ist. Es genügt demnach, ein Referenzsignal mit einer Amplitude  $R$  größer als zwei Volt zu wählen, um die Amplitude des Meßsignals  $S''(t)$  zu erhöhen. Folglich ist es möglich, indem ein Referenzsignal REF mit einer hinreichend großen Amplitude gewählt wird, die Auflösung der Messung der Winkelgeschwindigkeit nach Belieben zu erhöhen.

Außerdem kann die Vorrichtung gemäß der Erfindung vorteilhaft in Kombination mit einer Digitalschaltung einer Vorrichtung zum Messen der Winkelgeschwindigkeit, wie sie in dem weiter oben angeführten europäischen Patent EP-B-0 515 981 beschrieben ist, verwendet werden. Das heißt in dem Moment, in dem die Signale  $V_1(t)$  und  $V_2(t)$  mit den Referenzsignalen  $V_3(t)$  gemischt werden, um das Signal  $S''(t)$  nach Gleichung (10) zu erhalten, anstelle eine Analogverar-

beitung des Signals, wie sie weiter oben beschrieben ist, vorzunehmen, wird das Ausgangssignal einem Zähler zugeführt, um dieses Signal zu digitalisieren. Wie in dem angeführten Patent erläutert ist, verwendet die Vorrichtung ein Referenztaktsignal, um das Meßsignal für die Winkelgeschwindigkeit abzutasten. Die Auflösung der Vorrichtung ist durch das Verhältnis der Frequenz des Meßsignals für die Winkelgeschwindigkeit zur Frequenz des Taktsignals bestimmt. Je kleiner die Frequenz des Meßsignals im Vergleich zur Frequenz des Taktsignals ist, desto besser ist die Auflösung.

Die Frequenz des Taktsignals ist jedoch fest, beispielsweise 20 MHz, und kann nicht einfach verändert werden, ohne eine erhöhte Energieaufnahme der Digitalschaltung zu implizieren. Folglich ist es wünschenswert, die Frequenz des Meßsignals für die Winkelgeschwindigkeit verringern zu können. Nun kann aber die Vorrichtung gemäß der Erfindung dies mit Hilfe des Referenzsignals REF bewirken. Da das Signal  $S''(t)$  eine Frequenz hat, die proportional zu  $(\omega + \Delta\omega)$  ist, kann nämlich  $\Delta\omega$  nahe  $\omega$  gewählt werden, damit die Frequenz des Meßsignals niedriger wird. Beispielsweise wird, wenn die Frequenz des Erregungssignals OSC in etwa 8 kHz beträgt, die Frequenz des Referenzsignals nahe 7 kHz gewählt, um eine Frequenz des Signals  $S''(t)$  von etwa 1 kHz zu erhalten. Folglich wird die Auflösung im Vergleich zu der Auflösung, die mit der in dem bereits genannten Patent EP-B-0 515 981 beschriebenen Vorrichtung erzielt wird, um einen Faktor acht erhöht.

Aus der obigen Beschreibung geht hervor, daß die Vorrichtung zum Messen der Winkelgeschwindigkeit gemäß der Erfindung den festgelegten Zielen genügt, wobei sie einerseits ermöglicht, ein Ausgangssignal abzugeben, das nur noch von der Nutzkomponente des Erfassungssignals abhängt, und andererseits ermöglicht, entweder die Amplitude des Ausgangssignals zu erhöhen oder aber die Frequenz des Ausgangssignals zu senken, um die Auflösung der Messung der Winkelgeschwindigkeit zu erhöhen.

### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Messen einer Winkelgeschwindigkeit, die umfaßt:
  - einen Meßwandler (1), der dazu bestimmt ist, sich mit dieser Winkelgeschwindigkeit zu drehen,
  - Mittel (9) zum Erzeugen einer mechanischen Schwingung des Meßwandlers (1) als Antwort auf ein Erregungssignal (OSC), wobei diese mechanische Schwingung eine parasitäre Komponente und wenigstens eine Nutzkomponente enthält, die eine Amplitude besitzt, die die Winkelgeschwindigkeit darstellt,
  - Mittel, die ein elektrisches Erfassungssignal (DET) erzeugen, das die mechanische Schwingung darstellt und ebenfalls eine parasitäre Komponente und wenigstens eine Nutzkomponente enthält, die eine Amplitude besitzt, die die Winkelgeschwindigkeit darstellt, und
  - Verarbeitungsmittel (23), die anhand des elektrischen Erfassungssignals (DET) ein analoges Meßsignal (S") der Winkelgeschwindigkeit gewinnen, dadurch gekennzeichnet, daß die Verarbeitungsmittel Phasenschieber (41, 43; 57, 59), die die Phase des Erregungssignals (OSC) und des Erfassungssignals (DET) um einen Wert verschieben, der ihrer anfänglichen Phasenverschiebung entspricht, sowie Mittel (45; 49, 51, 61) umfassen, die das Erfassungssignal (DET) und das Erregungssignal (OSC), die phasenverschoben sind, mischen, um die parasitäre Komponente des Erfassungssignals (DET) zu beseitigen, damit die Amplitude des analogen Meßsignals (S") zur Amplitude der Nutzkomponente des Erfassungssignals (DET), die die Winkelgeschwindigkeit darstellt, proportional ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßwandler (1) ein Stimmgabel-Quarz ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die analogen Signalverarbeitungsmittel (23) ein Tiefpaßfilter (47; 63) umfassen, das an den Ausgang der Mischungsmittel (45; 61) angeschlossen ist und dessen Kapungsfrequenz in der Weise gewählt ist, daß die Komponenten des gemischten Signals beseitigt werden, die eine Frequenz oberhalb der Frequenz des Erregungssignals besitzen.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sie Mittel (38, 39; 53, 55) zum Verstärken des Erregungssignals, des Erfassungssignals und/oder des Meßsignals umfaßt.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Verarbeitungsmittel (23) Mittel (49, 51) umfassen, die das Erregungssignal (OSC) und das Erfassungssignal (DET) mit einem Referenzsignal (REF) mischen und denen Tiefpaß-Filtermittel (63) und/oder Phasenverschiebungsmittel (57, 59) zugeordnet sind, derart, daß ein Ausgangssignal (S") erzeugt wird, dessen Amplitude von der Winkelgeschwindigkeit des Meßwandlers und von der Amplitude des Referenzsignals abhängt.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Verarbeitungsmittel (23) Mittel (49, 51) enthalten, die das Erregungssignal (OSC) bzw. das Erfassungssignal (DET) mit einem Referenzsignal (REF) mischen und denen Tiefpaß-Filtermittel (63) und/oder Phasenverschiebungsmittel (57, 59) zugeordnet sind, derart, daß ein Ausgangssignal (S") erzeugt wird, dessen Frequenz von der Winkelgeschwindigkeit des Meßwandlers und von der Frequenz des Referenzsignals abhängt.

7. Verfahren zum Messen der Winkelgeschwindigkeit eines Meßwandlers (1), der aufgrund seiner Winkelbewegung einer Coriolis-Kraft unterliegt, das die Schritte umfaßt, die darin bestehen:

- in den Meßwandler (1) ein elektrisches Erregungssignal (OSC) einzugeben, damit dieser als Antwort darauf ein Erfassungssignal (DET) erzeugt, das eine die Winkelgeschwindigkeit des Meßwandlers (1) darstellende Nutzkomponente sowie eine parasitäre Komponente enthält;

- das Erfassungssignal zu erfassen;

dadurch gekennzeichnet, daß es außerdem die Schritte umfaßt, die darin bestehen:

- die Phase des Erregungssignals (OSC) und des Erfassungssignals (DET) um einen Wert zu verschieben, der der anfänglichen Phasenverschiebung zwischen dem Erregungssignal und dem Erfassungssignal entspricht, und

- das Erregungssignal (OSC) und das Erfassungssignal (DET), die phasenverschoben sind, zu mischen, um die parasitäre Komponente des Erfassungssignals zu beseitigen, damit die Amplitude des resultierenden Meßsignals (S") zur Amplitude der Nutzkomponente des Erfassungssignals (DET), die die Winkelgeschwindigkeit darstellt, proportional ist.

2007-02

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß es außerdem den Schritt umfaßt, der darin besteht:

- durch Filtern diejenigen Komponenten der phasenverschobenen Signale und des gemischten Meßsignals, die Frequenzen oberhalb der Frequenz des Erregungssignals besitzen, zu beseitigen, um ein Meßsignal ( $S''$ ) zu erhalten, dessen Amplitude eine Funktion der Winkelgeschwindigkeit ist.

9. Verfahren zum Messen der Winkelgeschwindigkeit eines Meßwandlers (1), der aufgrund seiner Winkelbewegung einer Coriolis-Kraft unterliegt, das die Schritte umfaßt, die darin bestehen:

- an den Meßwandler (1) ein elektrisches Erregungssignal (OSC) anzulegen, damit dieser als Antwort darauf ein Erfassungssignal (DET) erzeugen kann, das eine die Winkelgeschwindigkeit des Meßwandlers (1) darstellende Nutzkomponente sowie eine parasitäre Komponente enthält;

- das Erfassungssignal zu erfassen;

dadurch gekennzeichnet, daß es außerdem die Schritte umfaßt, die darin bestehen:

- das Erregungssignal (OSC) und das Erfassungssignal (DET) mit einem Referenzsignal (REF) zu mischen,

- die Phase der gemischten Signale um einen Wert zu verschieben, der der anfänglichen Phasenverschiebung zwischen dem Erregungssignal und dem erfaßten Signal entspricht,

- die gemischten und phasenverschobenen Signale zu filtern, derart, daß diejenigen Komponenten dieser Signale beseitigt werden, die Frequenzen oberhalb der Frequenz des Erregungssignals besitzen, und

- die erhaltenen gefilterten Signale zu mischen, um die parasitäre Komponente des Erfassungssignals (DET) zu beseitigen, derart daß ein Ausgangssignal erhalten wird, und das Ausgangssignal zu filtern, damit die Amplitude des resultierenden Meßsignals ( $S''$ ) zur Amplitude der Nutzkomponente des Erfassungssignals (DET), die die Winkelgeschwindigkeit darstellt, proportional ist.

200700

696 20 824,5-08

Fig. 1a

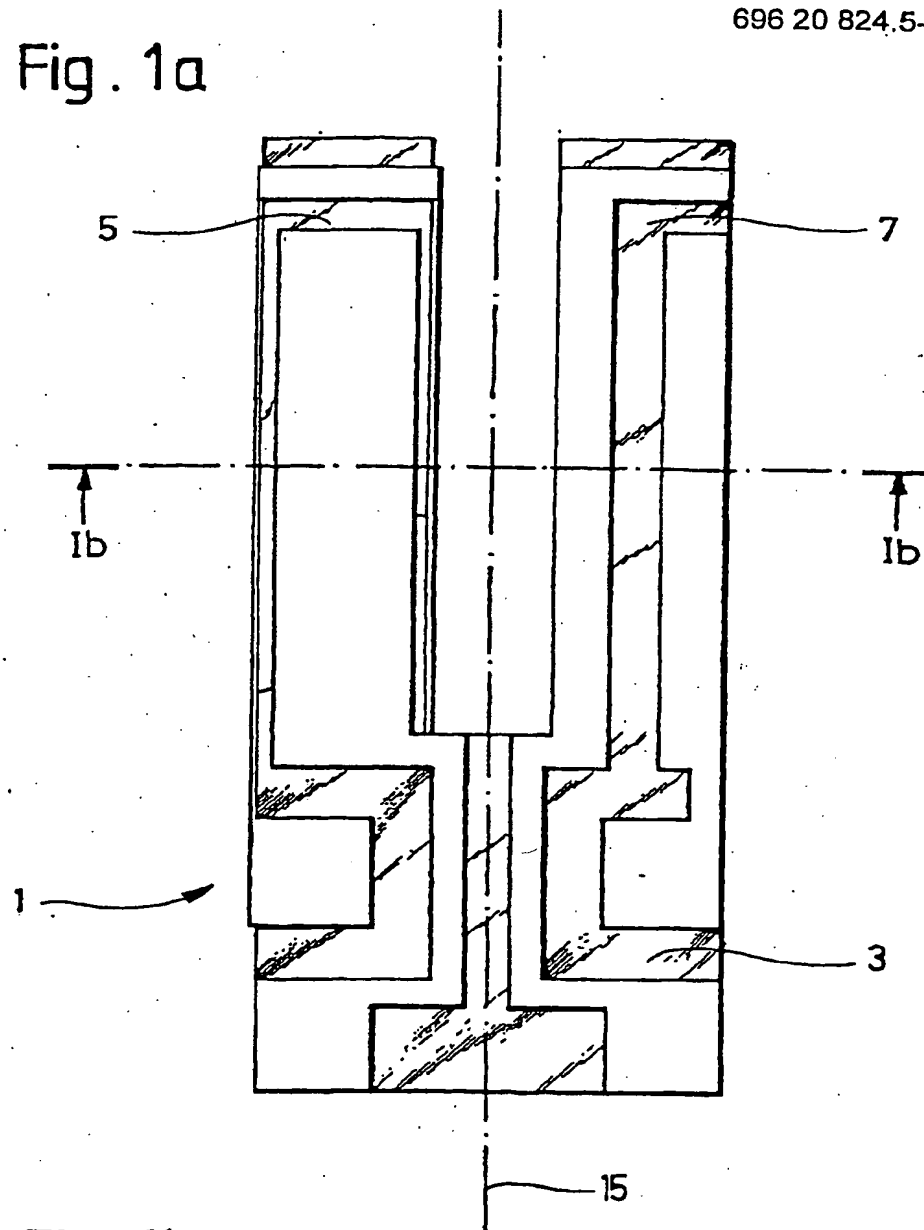


Fig. 1b

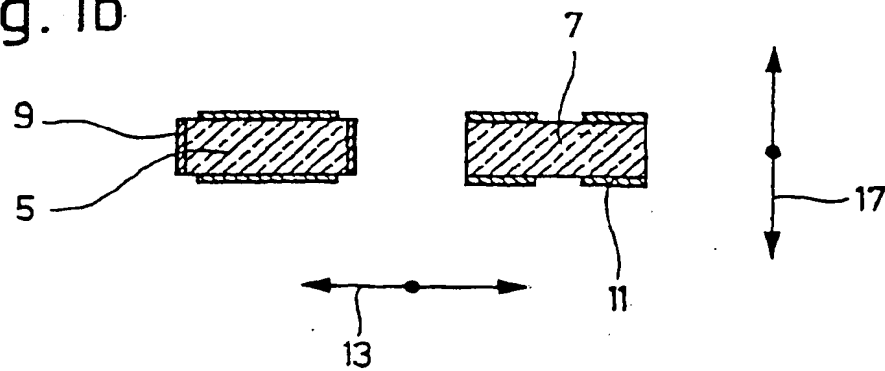


Fig. 2

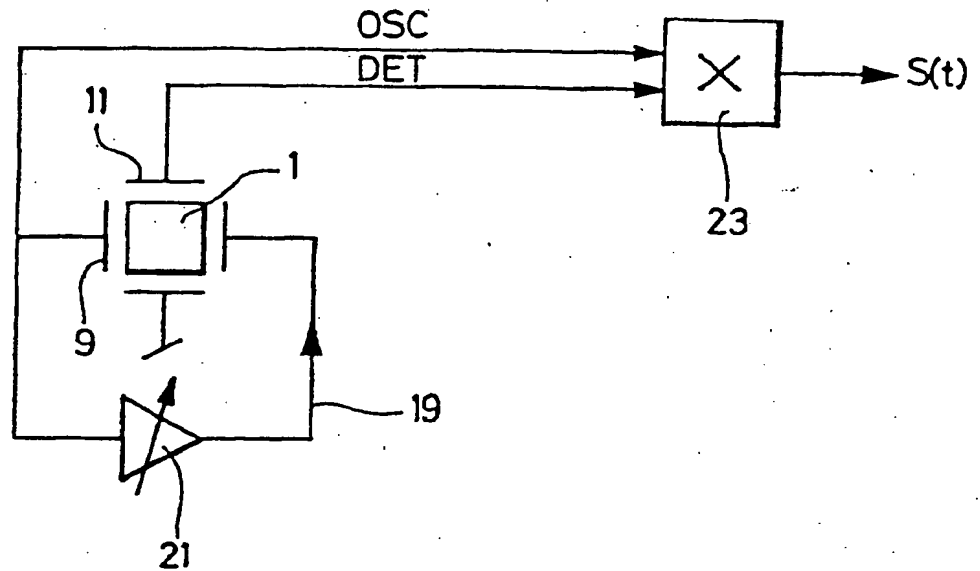
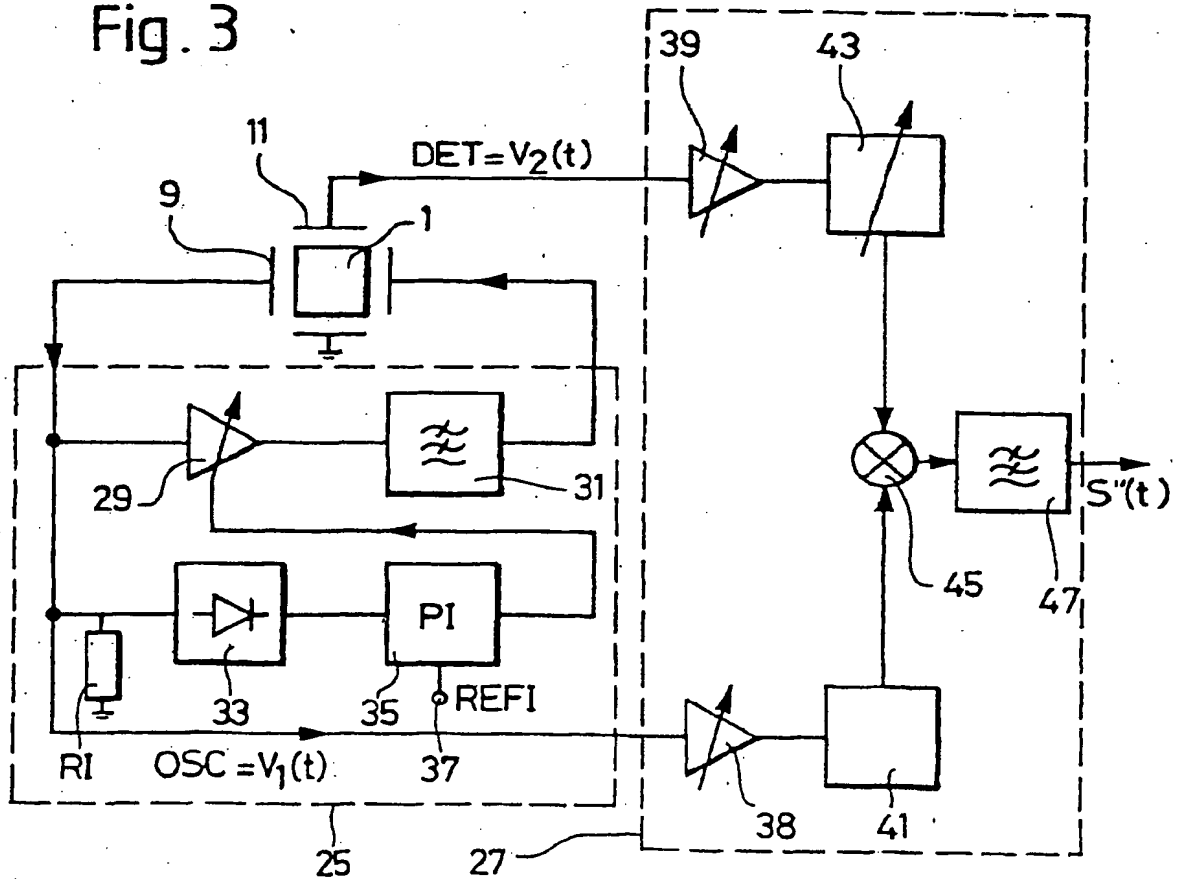


Fig. 3





20702

Fig. 4

